

**Production of current from carbon-containing material, especially biomass, comprises allothermally gasifying material in reactor producing fluidized layer, cooling gas produced, and removing pollutants from gas**

Publication number: DE10149649

Publication date: 2003-04-24

Inventor: WINKLER HUBERTUS (DE)

Applicant: BU BIOENERGIE & UMWELTECHNIK (CH)

Classification:

- International: C10J3/54; C10J3/56; C10J3/82; C10J3/84; F01K23/06;  
C10J3/00; C10J3/46; F01K23/06; (IPC1-7): F01K27/00;  
F02C6/18; F02G5/02

- European: C10J3/54; C10J3/56; C10J3/82; C10J3/84; F01K23/06G

Application number: DE20011049649 20011009

Priority number(s): DE20011049649 20011009

Also published as:



WO03033623 (A)

EP1436366 (A1)

EP1436366 (A0)

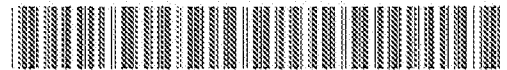
[Report a data error here](#)

**Abstract of DE10149649**

The production of a current from a carbon-containing material, especially biomass, comprises allothermally gasifying the material in a reactor (1) producing a fluidized layer (5); cooling the gas produced after passing through a cyclone in successive stages; removing pollutants from the gas by condensation; and removing further pollutants using a chemical method. Preferred Features: The waste gases from combustion engines and/or burners are used to thermo-chemically digest the materials to be gasified, to heat and/or dry the materials to be gasified or to heat the combustion air of the gases or a post-combustion boiler. The waste gases are passed through a waste heat boiler to produce steam. A condensation steam turbine (9) is driven by the waste heat boiler.

---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑬ **DE 101 49 649 A 1**

⑥ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 01 K 27/00**  
F 02 G 5/02  
F 02 C 6/18

⑳ Aktenzeichen: 101 49 649.4  
㉑ Anmeldetag: 9. 10. 2001  
㉒ Offenlegungstag: 24. 4. 2003

DE 101 49 649 A 1

㉓ **Anmelder:**  
BU Bioenergie & Umwelttechnik AG, Pfäffikon, CH  
  
㉔ **Vertreter:**  
Ullrich & Naumann, 69115 Heidelberg

㉕ **Erfinder:**  
Winkler, Hubertus, Dr., 82467  
Garmisch-Partenkirchen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ **Verfahren zur hocheffizienten Stromerzeugung aus Biomassen und sonstigen kohlenstoffhaltigen Rohstoffen**

㉗ In einem Verfahren zur hocheffizienten Stromerzeugung aus Biomassen oder sonstigen kohlenstoffhaltigen Rohstoffen wird Prozessgas aus einem allothermen Vergaser in mehreren Stufen abgekühlt und gewaschen. Danach wird ein Teil des Prozessgases in Brennern zum indirekten Erwärmen eines Wirbelbettes in einem allothermen Vergaser verbrannt. Der übrige Teil des Gases wird in Verbrennungsmotoren verbrannt bzw. elektrochemisch verwertet. Die Abgase der Verbrennungsmotoren und der Brenner werden in einen Abhitzeessel zur Dampferzeugung geleitet, welche eine ein- oder mehrstufige Kondensationsdampfturbine antreibt. Die Erfindung optimiert die gesamternergetische Verwertung des Rohstoffs und des Prozessgases.

DE 101 49 649 A 1

[0001] Es ist bekannt, dass in allothermen Vergasungsverfahren (Batterie-Verfahren - Prozessbild Anlage 1) die Abgase aus dem Restverbrennungsprozess der Rohstoffe verwendet werden, um den Wärmeträger (Sand oder Stahlkugeln) auf ca. 1000°C zu erhitzen. Dieser Wärmeträger wird dem Vergasungsprozess zugeführt und liefert die thermische Energie zur Vergasung. Nachteilig ist, dass sowohl die Abgase als auch deren Ablagerungen am Wärmeträger das Prozessgas verunreinigen und verdünnen. Des weiteren findet die Vergasung nicht auf gleichmäßigem Temperaturniveau statt sondern unregelmäßig zwischen 500 und 1000°C. Außerdem führt die hohe Eingangstemperatur des Wärmeträgermaterials (ca. 1000°C) im Vergasungsprozess zur Versinterung und Anlagerung der Restaschen an die Wärmeträgermaterialien. Anschließend muss das Abgas aufwendig gereinigt werden (Staubfilter, Nassgasreinigung). Auch bei Nutzung dieses Vorgangs zur Gaserzeugung in Gastmotoren wird das belastete Prozessgas im Abhitzekegel (Staubfilter) mit anschließender Quenche und Feinreinigung gereinigt. Die gegenwärtigen Probleme der Restbelastungen des Gases erfordern neue Wege. Die Abhitzekegel verschottern schnell, der Wirkungsgrad sinkt.

[0002] Bei dem von M & G Gummersbach genutzten Verfahren (Prozessbild Anlage 2) wird Biomasse fein vermahlen, vorgetrocknet und pelletiert dem Vergaser zugeführt. Die thermische Vergasungsenergie wird durch ein Gemisch von Prozessgas und reinem Sauerstoff und Dampf als heißes Wirbelgas der Biomasse zugeführt. Der Rest des entstehenden Prozessgases wird in einen Abhitzekegel geleitet, im anschließenden Staubfilter und einer Quenche gereinigt. Nachteilig ist, dass

- bei gewünschtem hohem Energiegehalt des Prozessgases reiner Sauerstoff zugeführt werden muss,
- Verunreinigungen des Prozessgases sich im Abhitzekegel ablagern können,
- das Wirbelgas im Reaktor unterschiedliche Temperaturzonen bewirkt,
- die Biomasse aufwendig vorbehandelt werden muss.

[0003] In dem von BABCOCK und der TU Wien genutzten Batterie-Verfahren (Prozessbild Anlage 3) wird das Produktgas ohne vorgelagerten Zyklon ähnlich wie oben beschrieben abgekühlt und gereinigt. Die Verbrennungsluft des Gastmotors wird einem Wärmeerzeuger in Kombination mit einem Ölbrenner zugeführt.

[0004] Allotherme Vergasungsverfahren sind deshalb zukunftsorientierend, weil sie nicht wie beim autothermen Verfahren Luftstickstoff ins Prozessgas durch Teilverbrennung einbringen und weil durch die unregelmäßige Verschweilung mehr Schadstoffe gebildet werden. Von den allothermen Verfahren kristallisiert sich das Dampfreformer Verfahren mit zirkulierendem Wirbelbett heraus. Bei diesem Verfahren wird das Wärmeträgermedium (z. B. Sand oder Korund) als Wirbelbett indirekt über Wärmetauscher auf die Reaktionstemperatur angehoben. In dieses Wirbelbett werden die Rohstoffe eingetragen. Der von unten in den Reformer eingedüstete Dampf dient zur Zirkulation des Wirbelbettes und zum thermo-chemischen Aufschluss der Biomasse.

[0005] Die wesentlichen Vorteile sind:

- Unempfindlich gegen Feuchtigkeitsschwankungen der Rohstoffe und Geometrieschwankungen, auch feinste Stäube sind gut vergasbar.

- Das Sortiment der Kohlenstoffverbindungen ist unbegrenzt einsetzbar.

- Die Vergasung kann auf konstantem idealen Temperaturniveau eingeregelt werden.

- Das zirkulierende Wirbelbett sichert einen großen thermo-chemischen Aufschluss und verhindert das Versintern von Aschefractionen, die auch bei niedrigen Temperaturen zu Versinterungen neigen.

[0006] Im nachfolgenden orientieren wir schwerpunktmäßig auf diesen allothermen Vergasungsprozess. Die Endung optimiert die gesamte energetische Verwertung des Rohstoffes und Prozessgases. Im Ausführungsbeispiel wird das Gesamtverfahren deutlich, wobei nicht alle in den Unteransprüchen dargestellten Möglichkeiten im Ausführungsbeispiel erfasst sind, aber in den nachfolgenden Vorteilen erläutert werden.

#### Vorteile der Erfindung

- Das Prozessgas wird in mehreren Stufen schlagartig unter Verwendung der abgegebenen Energie in entsprechenden Temperaturstufen abgekühlt, wobei ein Hauptteil von Dioxinen und Furanen gekrackt und eine rückläufige Boudouard-Reaktion (Rückreaktion von  $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ ) vermieden wird.

- Der nach dem Zyklon eingesetzte TLX als Rohrbündelwärmetauscher kühlt das Prozessgas bis auf 310°C, ohne dass Gasbestandteile kondensieren können, und produziert hocheffektiv Dampf höherer Druckstufe mit kostengünstiger Bauart.

In der zweiten Stufe der Gaswäsche wird das Gas mit Wasser schlagartig so gekühlt, dass gleichzeitig versprühte Wassertropfen Kondensationskeime zur Schadstoffanlagerung bilden. In der dritten Stufe der Gaskühlung wird das Gas so weit abgekühlt, dass überschüssiges Wasser auskondensiert und im "sauberen Kreislauf" über Wärmetauscher geleitet wird. Das kondensierte Wasser wird der Vorstufe wieder zugeführt.

- Die Abwärme der Gaswäsche wird zur Kondensatorvorwärmung genutzt.

- Das gegenüber autothermen Vergasungsverfahren geringvolumige Prozessgas mit dreifach höherem Energiegehalt kann in kleinen (kostengünstigen) Anlagen effektiv nass mit speziellem Verfahren nach Patentanmeldung AZ 100 49 227,4-43 so gereinigt werden, dass es für motorgetriebene Stromerzeuger insbesondere in Verbindung mit einem Kryo-Prozess auch für hocheffektive, druckaufgeladene, hochverdichtende Motoren mit elektrischen Wirkungsgraden über 40% geeignet wird.

- Durch diese Kombination der drei Stufen der Gasbehandlung sind auch belastete Holzter verwendbar und das Verfahren für die Vergasung von Abfallprodukten (z. B. Schredderleichtfraktionen) zur Strom- oder Wasserstoffherzeugung oder energiereiches Gas zur energetischen Nutzung in Brennpunkten (z. B. Ziegelindustrie und Zementindustrie) geeignet.

- Durch die intensive Vorreinigung des Prozessgases können die Abgase der Motoren oder Brenner im Reaktor in hocheffiziente Wärmetauscher geleitet werden. Da das Gas schadstofffrei ist, setzen sich keine Abprodukte an den Wärmetauscherflächen an, die die Wirkungsgrade verringern. Es sind effizientere Wärmetauscher einsetzbar und es ist keine Abgasreinigung erforderlich. Die laufenden Betriebskosten für dieses Gaswäscheverfahren sind geringer als die von Abgasreini-

gungsanlagen. Entscheidend ist, dass die Energieausbeute des reinen Abgases bis in den Kondensationsbereich des Wassers genutzt werden kann, wogegen bei den bisherigen Verfahren das mögliche auskondensieren der Kohlenstoff und Schwefelverbindungen höhere Abgastemperaturen erfordern.

Die Kombination mit einem einfachen Schlackebrennerkessel, der die Restkohlenstoffanteile der Asche so verbrennt, dass einerseits die Asche verschlackt wird und andererseits alle Kohlenstoffverbindungen in thermischer Energie in Form von Dampf in der Niederdruckstufe der Dampfturbine zur Stromerzeugung und als notwendige Prozesshilfsenergie verwertet werden. Damit wird auch ermöglicht, dass der allotherme Vergasungsprozess auf niedrigerem Temperaturniveau ausgeführt werden kann ohne dass bei höherem Restkohlenstoffanteil der Asche Entsorgungs- und Energienutzungsprobleme entstehen. Bei niedrigerer allothermer Vergasungstemperatur wird weniger Prozessgas für den thermo-chemischen Aufschluss verbraucht. Es steht anteilig mehr Prozessgas für die Motoren zur Verfügung. Die Klopffzahl des Prozessgases verbessert sich. Energetische Prozesse auf niedrigerem Energieniveau verbessern die Gesamtbilanz.

Im Anspruch 3 ist eine Nachbehandlung des Prozessgases für höhere Ansprüche formuliert. Durch den niedrigen Partialdruck, aufgrund des hohen Wasserstoffanteils vom Prozessgas, können bei nachfolgender Verdichtung des bereits sehr sauberen Gases Spuren von Kohlenwasserstoffen auskondensieren, wobei Gashydratbindung vermieden werden soll. Gegebenenfalls kann das je nach Prozessgaszusammensetzung und Restwassergehalt durch eine Gasvortrocknung oder Komaprozess erfolgen. Damit wird bei leichter Anhebung der Gastemperatur auf ca. 20°C ein trockenes Gas erzeugt, welches in Standardluftfilter für Motoren geleitet werden kann.

In Anspruch 4, 6, 7 und 9 wird der Energiegehalt von Prozessen zur Unterstützung des thermochemischen Aufschlusses oder der für die Temperaturanhebung des Kondensates genutzt, um verfügbare Energien für die Gesamtstromerzeugung zu nutzen, wobei elektrische Gesamtwirkungsgrade bis 40% aus nachwachsenden Rohstoffen auch bei Kraftwerken kleinerer Leistung möglich werden.

Im Anspruch 5 wird der Kohlenstoff in der Restasche auf höherem Temperaturniveau verbrannt wobei die Siliziumanteile die Schwermetallverbindungen einschmelzen und die Asche inertisiert wird. Dadurch ist sie auch bei Verwendung belasteter Althölzer (z. B. für den Straßenbau) einsetzbar (geringe Entsorgungskosten).

In Anspruch 6 wird das Abgas der Brenner im Reformier durch einen Prozessdampfüberhitzer geleitet, der den notwendigen Prozessdampf zum thermo-chemischen Aufschluss des Kohlenstoffes, der gleichzeitig das Wirbelbett fluidisiert, auf annähernd Reaktionstemperatur anhebt, um die Leistung der Brenner zu reduzieren und die Zirkulation bei Kontakt mit der Biomasse zu beschleunigen.

Zu Anspruch 8:

Bei Einsatz von hocheffektiven Kondensationsrührbinen des Dampfprozesses wird im Luftkondensator auf niedrigerem Temperaturniveau (ca. 45°C) Energie in Form von Warmluft frei, die über Kanäle durch die im Lager zwischengelagerten Rohstoffe (Biomasse) geleitet wird, um diese vorzutrocknen, wobei die Gesamtenergiebilanz verbessert wird. Es sind auch feuchte

Rohstoffe einlagerbar. Die gezielte Trocknung in dieser Form vermeidet die Trocknung in Zwischenlagerplätzen, welche Transport- und Lagerkosten verursachen. Außerdem sinkt bei der Zwischenlagerung der Energiegehalt des Rohstoffes durch Pilzbildung und Ligninabbau.

In Anspruch 10 kann alternativ zur Verbrennung des Restkohlenstoffes der Asche eine unterstöchiometrische Vergasung nach einem autothermen Vergasungsverfahren (ggf. nach dem Karbo-V-Verfahren) bei gleichzeitiger Verschlackung der Restasche eingesetzt werden, wobei das entstehende Prozessgas vor der Gaskühlung (TLX) und Gaswäsche dem Hauptstrom beigemischt wird. Der Vorteil ist in diesem Fall eine höhere Gasmenge für die hocheffizienten Gasmotoren, wobei die Investitionsaufwendungen abzuwägen sind.

Der Anspruch 11 schafft die Möglichkeit für eine gesamte energetische Optimierung in der Form, dass die allotherme Vergasung energieeffizienter bei niedrigeren Temperaturen (z. B. 700°C) erfolgt (Vergasung der leichtflüchtigeren Bestandteile, höhere Durchsatzleistungen). Dabei nimmt man in Kauf, dass sich mehr Restkohlenstoff in der Asche befindet, welcher dann auch unter Anspruch 15 für den thermo-chemischen Aufschluss in Verbindung mit dem Dampfkreislauf genutzt oder in Kombination mit Anspruch 10 vergast wird.

Die Ansprüche 12 und 14 dienen dazu, dass die Restfeuchte im Rohstoff schlagartig durch notwendigen zusätzlichen Prozessdampf in Brühdampf umgewandelt wird. Dieser unterstützt einerseits den Zirkulationsprozess bei gleichzeitiger Einsparung von Prozessdampf und andererseits den thermo-chemischen Aufschluss sowie den Massetransport.

Nach Anspruch 13 saugt der Prozessdampf über eine Venturidüse, auch zur Regelung des Wirbelbettes, Prozessgas aus dem Reformier an und führt ihn mit nur geringem Temperaturverlust in das Wirbelbett um Dampf für die Zirkulation zu reduzieren. Das schafft Möglichkeiten, auch mit höheren Rohstofffeuchten oder Feuchtigkeitschwankungen labil allotherm zu vergasen.

Der Anspruch 16 sichert einerseits die energetische Verwertung der ausgewaschenen Kohlenstoffverbindungen (Öle, Benzine, Teere) und andererseits wird der Entsorgungsaufwand reduziert.

#### Ausführungsbeispiel

[0007] Das Ausführungsbeispiel gemäß Verfahrensbild der Anlage für Straubing bringt eine elektrische Leistung von 7,2 MW<sub>el</sub>, bei 2 MW<sub>th</sub> für Fernwärmeauskopplung.

#### Prozessbeschreibung

[0008] Das für das Biomasse Kraftwerk Straubing vorgeschlagene Verfahren ist in verschiedene Prozesseinheiten aufgeteilt, wobei nachfolgend die wesentlichen Baugruppen beschrieben sind.

#### Lagerung und Trocknung der Biomasse

[0009] Der Wirbelschichtreformer, in dem die Vergasung der Biomasse stattfindet, kann eine breite Palette an verschiedenen biogenen Stoffen verarbeiten. Die Lagerhalle ist dabei ausgelegt für eine Menge von ca. 7000 m<sup>3</sup>, was einer mittleren Verweilzeit von ca. 10 Tagen entspricht.

[0010] Die angelieferten Biomassen weisen unterschiedliche Stück- bzw. Korngrößen auf. Die in der Lagerhalle vor-

gesehenen Aufbereitungs- und Förderanlagen verarbeiten die angelieferten Stoffmenge in einer Weise, dass zum Dampfreformer Stückgut des Größentyps G50 gefördert wird.

[0011] Fremdmaterialien wie Metalle, Steine etc. werden durch Abscheidevorrichtungen und Siebe aus dem Biomasseeinsatz ausgesondert.

[0012] Die Feuchtigkeit der angelieferten Mengen können über die Jahreszeit starken Schwankungen unterworfen sein. Da für den energetisch optimierten Betrieb des Dampfreformers möglichst trockene Biomasse ( $< 20\%$ ) eingesetzt werden soll, erfolgt eine Belüftung der Halle und Trocknung der Biomasse mittels aus dem Prozess verfügbarer Niedertemperaturabwärme. Hierzu saugen die Sauggebläse Luft mit einer Temperatur von ca.  $45^{\circ}\text{C}_{\text{el}}$  vom Abdampf-Luftkondensator ab und die leicht überhitzte Luft wird in die Halle und in spezielle Belüftungskanäle der Lagerkammern eingeblasen. Damit lassen sich Trockenwerte von ca. 15-20 % der eingesetzten Biomasse erzielen.

[0013] Die Förderanlagen in der Lagerhalle sind redundant zwei sträßig ausgeführt, wobei die Förderung der Biomasse über automatische Krananlagen erfolgt. Die Kräne sind mit Feuchtigkeitssensoren ausgerüstet, so dass schon bei Anlieferung der Biomasse eine optimale Verteilung im Bereich der einzelnen Lagerkammern erfolgt.

[0014] Die Fördereinrichtungen innerhalb der Lager- und Trocknungshalle arbeiten vollautomatisch, so dass hierfür kein permanentes Personal erforderlich ist. Die Abluft aus der Halle wird über ein Filtersystem geführt.

#### Dampfreformierungssystem

[0015] Die im Biomasselager auf ca. 20% vorgetrocknete Biomasse wird über Förderschnecken zum Dampfreformer geführt. Die Einspeisung erfolgt auf zwei gegenüberliegenden Seiten, so dass eine optimale Beschickung der Wirbelschicht gewährleistet ist.

[0016] Die Beheizung der Wirbelschicht des Dampfreformers erfolgt über Pulsbrenner, die übereinander im Behälter angeordnet sind. Die Pulsbrenner werden über ein Gebläse mit Verbrennungsluft versorgt, die auf etwa  $45^{\circ}\text{C}_{\text{el}}$  vorgewärmt vom Abdampf-Luftkondensator abgezogen wird.

[0017] Die Mischung Brenngas und Luft für die Pulsbrenner erfolgt mit einem Luftüberschuss von  $\lambda = 1,1-1,2$ . Die für den Vergasungsprozess erforderliche zugeführte Wärme wird über das nach der Gaswäsche abgezweigte Brenngas bereitgestellt.

[0018] Im Dampfreformer integrierte innere Zykclone halten mitgerissenes Bettmaterial, größere Asche und Koksteilchen zurück und führen diese wieder der Wirbelschicht zu.

[0019] Das Prozessgas verlässt mit einer Temperatur von ca.  $800^{\circ}\text{C}_{\text{el}}$  den Reformer und wird zunächst über einen externen Zyklon geführt. Dort erfolgt die Abscheidung von feinen Asche- und Koksteilchen, die zur weiteren energetischen Nutzung einer Nachverbrennung zugeführt werden. Das heiße Prozessgas wird in einem Röhrenwärmetauscher weiter auf ca.  $300^{\circ}\text{C}_{\text{el}}$  abgekühlt und erzeugt dabei auf der Mantelseite Sattdampf bei ca. 45 bar.

[0020] Zur Fluidisierung der Wirbelschicht wird überhitzter Prozessdampf in den Reformer eingeblasen.

[0021] Die aus den Pulsbrennern austretenden heißen Abgase werden nach Abkühlung im Prozessdampfüberhitzer zur weiteren energetischen Nutzung dem Abhitzeessel zugeführt.

#### Ascheverwertung

[0022] Die im Biomasseeinsatz enthaltenen Aschebe-

standteile werden hauptsächlich über den externen Zyklon am Austritt aus dem Dampfreformer aus dem System ausgeiragen. In dieser Aschefraktion befinden sich Restkohlenstoffanteile, die im Reformer nicht umgesetzt wurden.

Grundsätzlich lässt sich mit dem Dampfreformierungsverfahren eine sehr hohe Kohlenstoffkonversion erzeugen ( $> 99\%$ ), wobei jedoch Reaktivität des Kohlenstoffs in der Biomasse und Temperatur der Reformierung eine wesentliche Rolle spielen.

[0023] Grundsätzlich gilt, je höher die Betriebstemperatur, desto höher die Kohlenstoffkonversion. Hier gilt es jedoch unter Betrachtung der Gesamtenergiebilanz das System dahingehend zu optimieren, dass der Aufwand zur Beheizung des Reformers im Verhältnis zur erforderlichen Kohlenstoffkonversion nicht zu hoch wird. Da mit steigender Heizleistung des Reformers, das zur Verarbeitung in den Gasmotoren verbleibende Gas abnimmt muss hier ein technisch und wirtschaftlich sinnvoller Wert festgelegt werden. Im vorliegenden Fall wird eine Kohlenstoffkonversion von ca. 95% als sinnvoll erachtet. Damit steht hinreichend Gas für die Gasmotoren zur Verfügung und der Restkohlenstoff in der Aschefraktion beträgt etwa 20-50%, je nach Aschegehalt des Biomasseeinsatzes.

[0024] Dieser Feststoffstrom wird einem Verbrennungskessel zugeführt und mit Zugabe eines geringen Prozessgasstroms zur Stützfeuerung verbrannt. Die entstehende Wärme wird genutzt um Niederdruckdampf zu erzeugen, der auf die Niederdruckschiene des Dampfsystems gegeben wird. Dies führt dort zu einer Verringerung des erforderlichen Extraktionsdampfes aus der Dampfturbine, so dass die elektrische Leistung des Turbosatzes um diesen Betrag ansteigt. Damit lässt sich der Energieinhalt des Restkohlenstoffs vollständig nutzen.

[0025] Die Verbrennung des kohlenstoffhaltigen Aschestromes im Kessel erfolgt mittels eines Schlackenbrenners. Dabei wird im Verbrennungsprozess die Asche verflüssigt und verschlackt. Im Vergleich zur Entsorgung unbehandelter Asche lässt sich die verschlackte Asche wegen der geringeren Blauierbarkeit leichter deponieren, da die darin enthaltenen wasserlöslichen Bestandteile nicht mehr auswaschbar sind. Die Kosten zur Entsorgung für verschlackte Asche sind erheblich geringer als für unbehandelte Asche, womit sich ein zusätzlicher wirtschaftlicher Vorteil ergibt, der jedoch für beide Standorte nicht gerechnet ist. Die FH Regensburg ist momentan mit der Untersuchung von Möglichkeiten der Aschebehandlung befasst.

#### Gaskühlung- und Gaswäsche

[0026] Das abgekühlte Prozessgas tritt in die Gaswäsche ein und wird im direkten Kontakt mit eingespritzten Waschwasser aufgesättigt und dadurch auf ca.  $75^{\circ}\text{C}_{\text{el}}$  abgekühlt. Hierbei werden alle hochsiedenden Kohlenwasserstoffe auskondensiert sowie restliche feine Ascheteilchen abgeschieden. Durch Einregelung eines pH-Wertes des Umlaufwassers auf ca. 5-6 durch Bindosierung von  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lässt sich eine vollkommene Absorption des im Prozessgas enthaltenen  $\text{NH}_3$  erzielen.

[0027] In einem weiteren Waschabschnitt erfolgt die Absorption von im Gas enthaltenen sauren (im wesentlichen  $\text{H}_2\text{S}$ ) Bestandteilen.

[0028] Im umlaufenden Wasser der Gaswäsche konzentrieren sich die auskondensierten Teere und Restasche Bestandteile auf. Durch den insgesamt bei der Gasabkühlung auftretenden Wasserüberschuss, wird aus der Gaswäsche ein Abwasserstrom abgeführt.

[0029] Aus diesem Strom werden feste Bestandteile, Teere und flüssige Kohlenwasserstoffe abgeschieden. Das

verbleibende Abwasser wird in die Kanalisation zur Abwasser-Anlage abgegeben.

[0030] Das gereinigte Prozessgas ist frei von Teeren, sauren Bestandteilen etc. und besteht im wesentlichen nur noch aus  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ , und  $CO_2$  und kann somit direkt in den nachgeschalteten Gasmotoren eingesetzt werden. Ein Teil des Prozessgases wird zur Befuerung der Puls Brenner des Reformersystems benutzt. Der verbleibende Anteil dient zur Stromerzeugung in den Gasmotoren.

#### Gasmotoren

[0031] Das nach der Gaswäsche zur Verfügung stehende Prozessgas kann auf Gasmotoren aufgegeben werden. Hierzu stehen zwei prinzipielle Möglichkeiten zur Verfügung. Einmal können selbstansaugende Gas-Otto-Motoren eingesetzt werden. Zum anderen ist die Anwendung eines selbst-ansaugenden Zündstrahl Gasmotors mit Turboaufladung angeboten.

[0032] Die Anwendung des Zündstrahlmotors ist grundsätzlich durch das Gesetz zum Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) zulässig.

[0033] Für die weiteren Betrachtungen wurde zunächst die Variante mit Zündstrahlmotor außer acht gelassen, da der Investitionsaufwand deutlich höher als bei den herkömmlichen Gasmotoren liegt.

[0034] Die Betriebskosten sind jedoch aufgrund der spezifischen Besonderheiten dieser Bauart (z. B. geringere Drehzahl, größere Zylinder) geringer als bei den Otto-Motoren. Die endgültige Festlegung kann jedoch erst in Detailphase erfolgen, wenn genaue Spezifikationen der Gasmotorenanlage mit den Herstellern besprochen werden.

[0035] Aufgrund der verfügbaren Baureihen sind für die Anlage Straubing 4 einzelnen Gasmotoren mit Generator erforderlich. Die gesamte elektrische Leistung liegt hier bei ca. 4,5 MW und die verfügbare thermische Leistung bei  $90^\circ C_{el}$  Vorlauftemperatur bei ca.  $2,0 MW$ .

[0036] Hinsichtlich der erforderlichen Prozessgasqualität sind besondere Anforderungen hinsichtlich des Gehaltes an Teeren (teerfrei), Silizium und Halogenen einzuhalten. Diese Anforderungen werden durch die angewendete Gaswäsche und durch die charakteristischen Eigenschaften des allothermen Vergasungsverfahrens eingehalten.

[0037] Die Abgase der einzelnen Motoren werden zusammengeführt und nach Mischung mit den Abgasen der Pulsbrenner in den Abhitzeblock geleitet werden. Die Abgase der Motoren liegen bei  $500$  bis  $600^\circ C_{el}$ , so dass sich nach Mischung mit den Abgasen der Pulsbrenner Mischtemperaturen von  $620$  bis  $670^\circ C_{el}$  ergeben. Dieses Abgasgemisch wird dem Abhitzekessel zur Erzeugung von Hochdruckdampf zugeführt.

[0038] Hinsichtlich der einzuhaltenden Emissionen können die erforderlichen  $NO_x$ - und  $CO$ -Werte durch den Einsatz von Katalysatoren erreicht werden.

#### Abhitzekessel/Dampfsystem

[0039] In den Abhitzekessel werden die gemischten Abgase aus den Gasmotoren und dem Pulsbrenner eingebracht.

[0040] Im Abhitzekessel erfolgt die:

- Anwärmung von Kesselspeisewasser
- Erzeugung von Hochdruckdampf bei 45 bar
- Überhitzung des Hochdruckdampfes auf ca.  $440^\circ C_{el}$ .

[0041] Der erzeugte Hochdruckdampf wird einer Kondensationsdampfturbine zugeführt. Hierbei spielt die Ausführung der Turbine eine besondere Rolle, da durch den Turbi-

nenwirkungsgrad die Erzeugung der elektrischen Energie bestimmt wird. Da Strom das Haupt Abgabeprodukt der Anlage darstellt und den größten Einfluss auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlage hat, sollte hier eine mehrstufige Maschine mit hohem internen Wirkungsgrad eingesetzt werden. Die gegenüber einfacheren Maschinen erhöhten Investitionskosten amortisieren sich in sehr kurzer Zeit.

[0042] Die Dampfturbine ist mit einer Anzapfung versehen, von der aus der Bedarf der Niederdruckschiene gedeckt wird. Von der Niederdruckschiene erfolgt die Versorgung des Dampfreformers mit Prozessdampf.

[0043] Der in der Aschennachverbrennung erzeugte Niederdruckdampf wird der Niederdruckschiene zugeführt, so dass dadurch die Anzapfmenge der Turbine reduziert wird.

#### Aufstellungsplan

[0044] Der beigelegte Aufstellungsplan zeigt im Verhältnis zueinander die Anordnung der einzelnen Baugruppen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur hocheffizienten Stromerzeugung aus Biomassen oder sonstigen kohlenstoffhaltigen Rohstoffen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Prozessgas aus einem allothermen Vergaser vorzugsweise nach dem Dampfreformer-Verfahren im zirkulierenden Wirbelbett über einen Zyklon, der die Asche trennt auf kurzem Weg mit hohem Temperaturgradient über einen Wärmetauscher vorzugsweise als TLX auf ca.  $310^\circ C$  abgekühlt wird, wobei gleichzeitig Dampf auf hohem Temperaturniveau erzeugt wird. Nachfolgend wird das Prozessgas in zwei Stufen gewaschen und dabei auf  $40^\circ C$  abgekühlt, wobei in der ersten Stufe schlagartig durch Wasseraufnahme und Bildung von Kondensationskeimen alle Reststäube und Hauptverunreinigungen ausgewaschen werden und in der zweiten Stufe das Wasser auskondensiert wird und Stickstoffverbindungen durch Laugen in Sulfaten neutralisiert werden. Danach wird ein Teil des Prozessgases in Brennern zum indirekten Erwärmen des Wirbelbettes in einem allothermen Vergaser verbrannt. Der übrige Teil des Gases wird in Verbrennungsmotoren verbrannt bzw. elektrochemisch verwertet. Die Abgase der Verbrennungsmotoren als auch die der Brenner für den thermochemischen Aufschluss der Biomasse werden in einen Abhitzekessel zur Dampferzeugung geleitet, welcher eine ein- oder mehrstufige Kondensationsdampfturbine antreibt. Die Restkohlenstoffe der aus dem Zyklon abgeschiedenen Restaschen des allothermen Vergasungsverfahrens werden in einem einfachen Dampfkessel verbrannt, wobei Dampf niederer Druckstufe für den Prozessdampf zur allothermen Reaktion und der Rest in die Niederdruckstufe der Dampfturbine geleitet wird. Die Asche dabei wird ohne vorherige Abkühlung aus dem Zyklon in den Dampfkessel direkt zugeführt, um die thermische Energie zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass überschüssige Reste von Prozessgas aus den geregelten Brenner und Motoren in den Abhitzekessel mit verbrannt und energetisch wirksam werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenn für die Verbrennungsmotoren oder andere Energieumwandlungsverfahren erforderlich Prozessgas getrocknet und über einen Kryo-Prozess Restkohlenstoffe auskondensiert werden, wobei das Verfahren so ausgelegt wird, dass keine Gashydratbildung entsteht, entweder durch Abkühlung bis kurz vor Gas-

hydratbildung oder Vortrocknung vor der Abkühlung. Nachfolgend wird das Gas auf ca. 20°C wieder aufgewärmt, so dass es trocken genug ist, um es durch Standardluftfilter von Motoren zu leiten.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgase aus den Verbrennungsmotoren und Brennern für den thermo-chemischen Aufschluss genutzt werden oder bzw. auch um die Biomassen vorzuwärmen, vorzutrocknen und die Verbrennungsluft des Gases oder Nachverbrennungskessels vorzuwärmen.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kessel für die Verbrennung der Restkohlenstoffe aus der Asche so ausgelegt wird, dass die Schwermetallverbindungen eingeschmolzen werden. Als Stützfeuerung und zur Regelung kann Prozessgas in der Endstufe und z. B. Altholz zugespeist werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgas der Brenner für den thermo-chemischen Aufschluss über einen Dampfüberhitzer in den Abhitzekegel geleitet wird, um den Prozessdampf zum thermo-chemischen Aufschluss und zur Zirkulation des Wirbelbettes der Wärmeträgermaterialien des Reformers annähernd auf die Reaktionstemperatur anzuheben.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abwärme der Motorkühlung für die Rohstofftrocknung und Verbrennungsluftanhebung der Brenner oder für die Ascheverbrennung im Dampfkessel als auch für Fernwärmeprozesse genutzt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abluft des Luftkondensators der Kondensationsdampfmaschine für die Vortrocknung der Rohstoffe genutzt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abwärme durch Gasabkühlung von ca. 300°C auf ca. 40°C aus der Gaswäsche und Kondensation des Restwassers (Kondensationswärme) aus dem Prozessgas zur Kondensatanwärmung oder wie im Unteranspruch 7 beschrieben genutzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Restasche autotherm vergast wird und das entstehende Prozessgas dem Prozessgas des Hauptstromes vor der Gaswäsche beigemischt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kessel für die Verbrennung der Restasche oder die autotherme Vergasung so ausgelegt wird, dass eine niedrigere Vergasungstemperatur im Reformer der allothermen Vergasung gewählt werden kann, die eine geringe thermische Aufschlussenergie erfordert, wobei mehr Prozessgasmenge für die Motoren verfügbar und die Prozessgaszusammensetzung hinsichtlich der Methanzahl (Klopffzahl) und der Gesamtwirkungsgrad verbessert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zu vergasende Rohstoff durch Sekundärwärme vorgewärmt und/oder so tief wie möglich in das zirkulierende Wirbelbett eingebracht wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des Dampfes für den thermo-chemischen Aufschluss der Biomasse bereits in die Transportschnecke des zu vergasenden Rohstoffes eingebracht wird, um bei Kontakt den Restwasseranteil schnell zu verdampfen und den Transport sowie die Verwirbelung im Wirbelbett zu unterstützen.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kessel für die Nachverbrennung der Asche mit Verschlackung der Asche so ausgelegt wird,

dass auch ggf. durch eine Biomassezuführung so viel Hochtemperaturabgase entstehen, die durch hochtemperaturbeständige Wärmetauscherrohre im Reformer (z. B. aus Siliziumkarbid oder Temperguß) geleitet werden und somit die Brenner im Reformer teilweise oder ganz ersetzen.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Gaswäsche entstehenden auskondensierten Kohlenwasserstoffe dem Kessel für die Verbrennung des Restkohlenstoffes in der Asche oder dem allothermen bzw. autothermen Vergasungsprozess zugeführt werden.

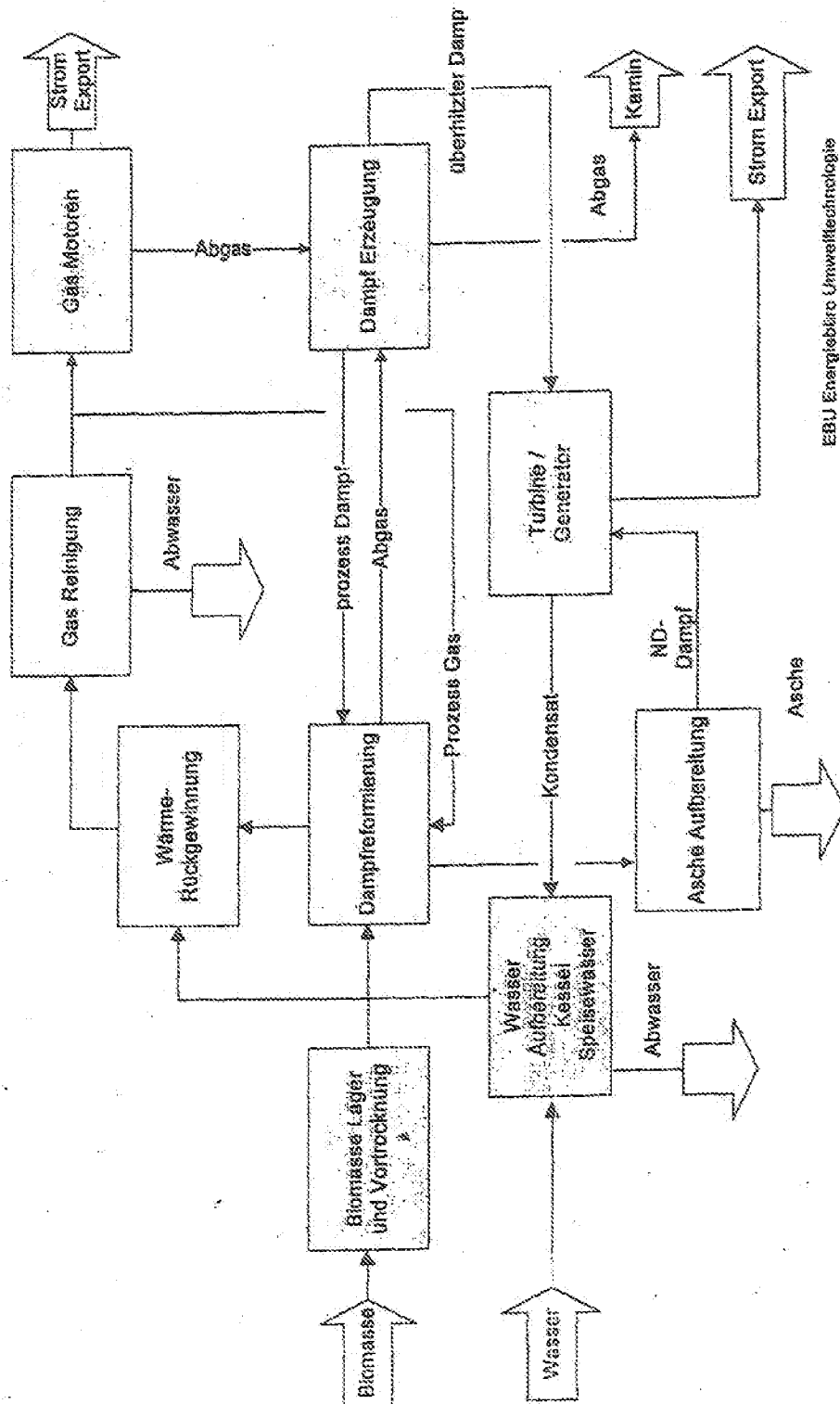
---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

Blockdiagramm

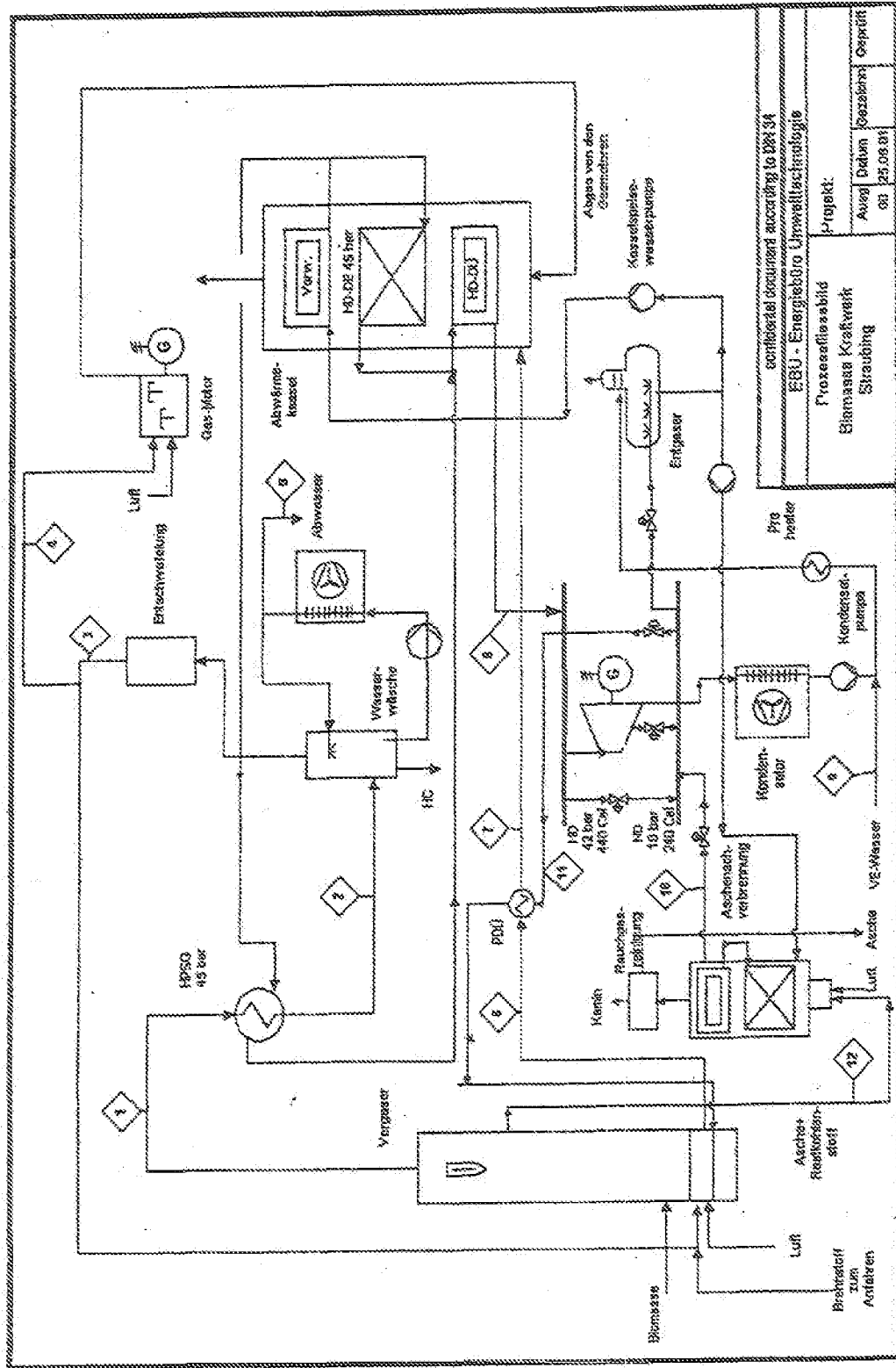
Block Diagramm / Biomasse Kraftwerk Straubing



EBU Energiebüro Umwelttechnologie



# Prozessfließbild



confidential document according to DIN 34

EEU - Energiebüro Umwelttechnologie

Prozessfließbild

Biomasse Kraftwerk

Sträubing

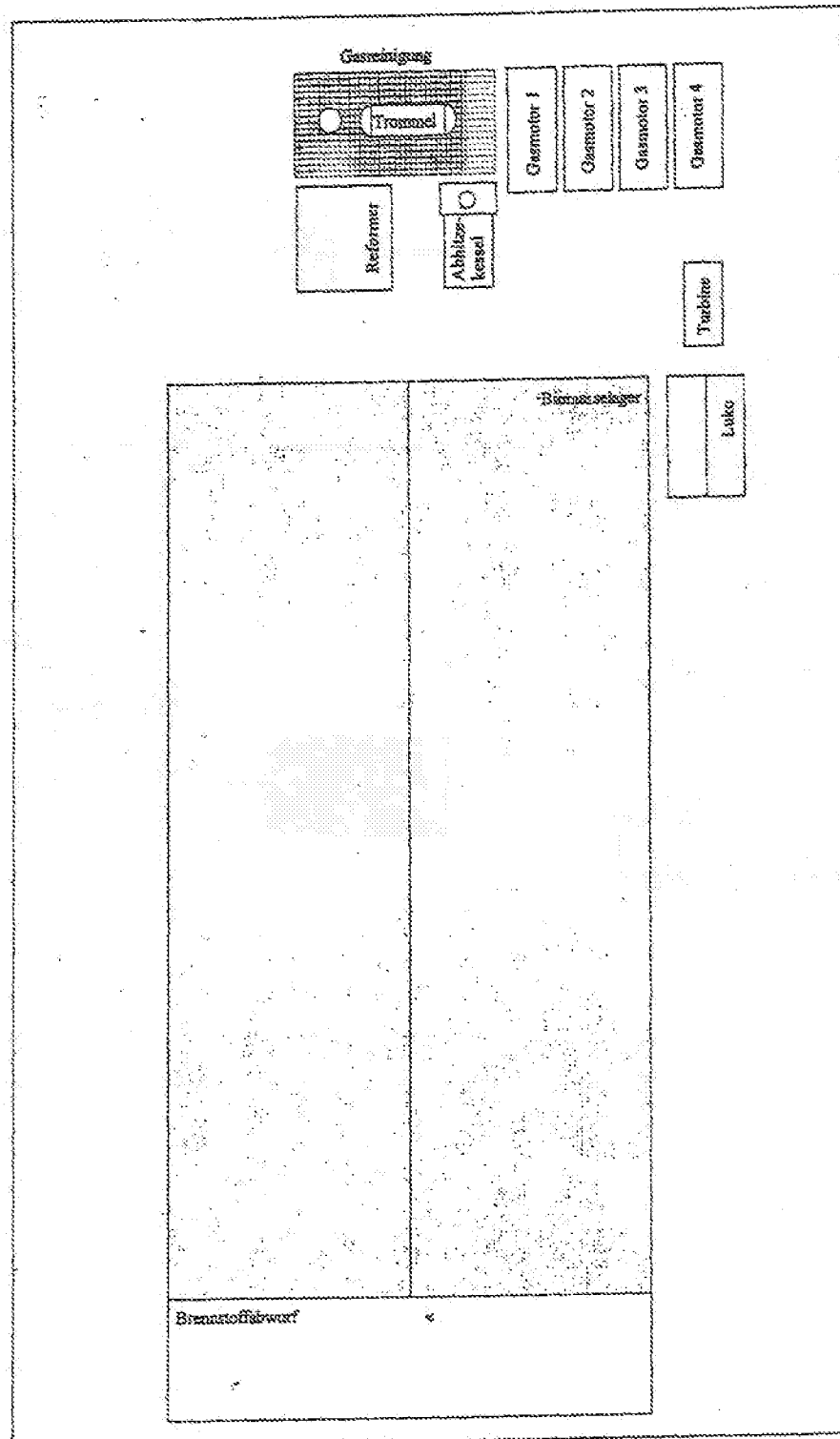
Projekt:

Ausg. Datum

03.25.08.01

Geprüft

Das Biomasselager ist 25\*45 m und zeigt damit die Gesamtgröße der Anlage auf.



## Anlage 1

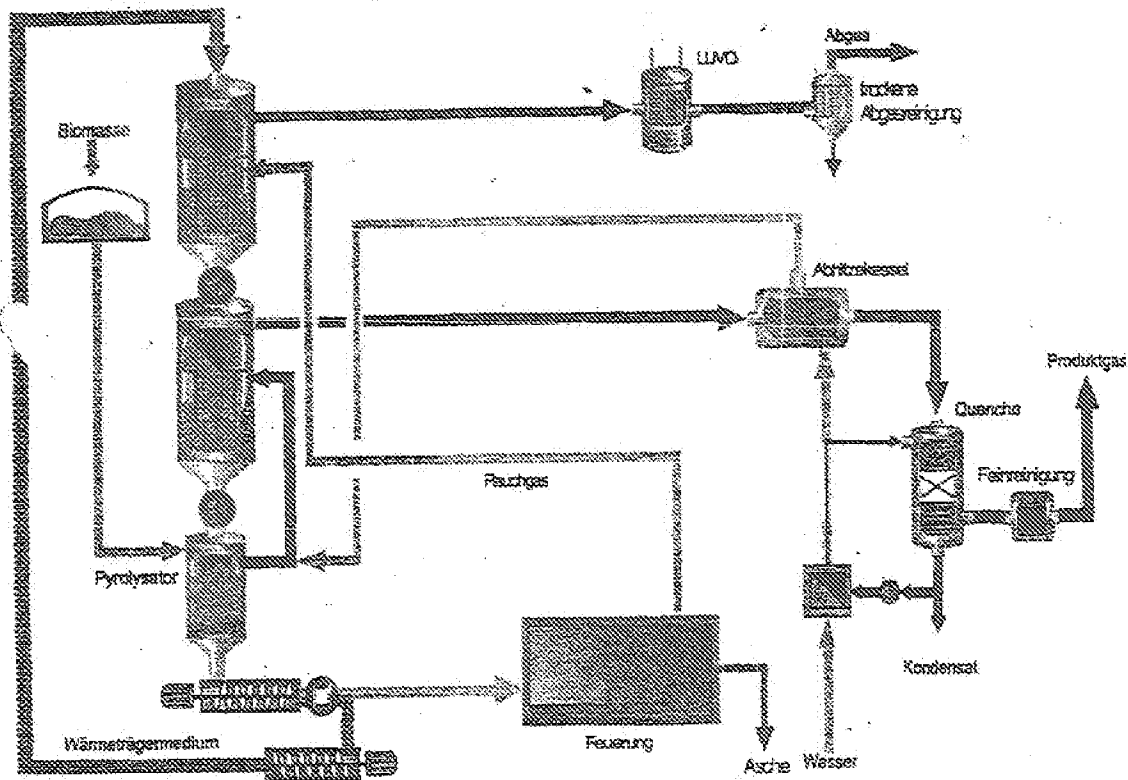
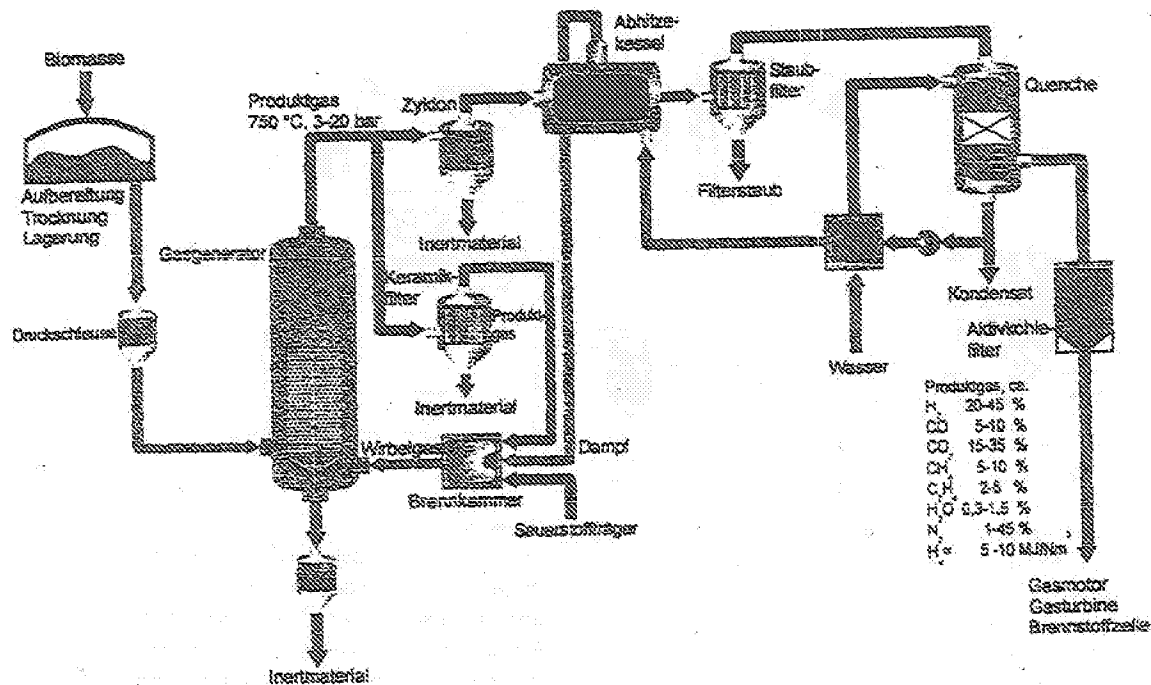


Abb. 2: Prinzipschema - Anlage nach dem Verfahren der Gestufte mierung mit den wesentlichsten Komponenten

## 2. Verfahrensbeschreibung

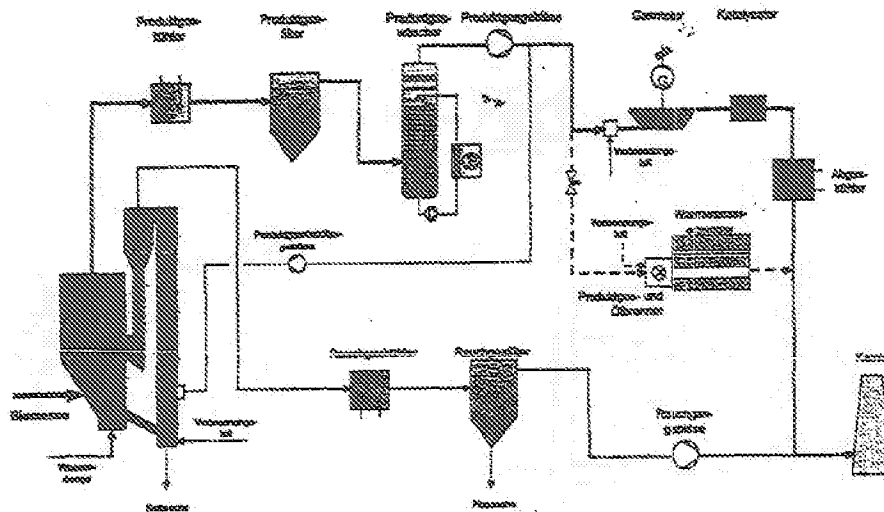
Im hier betrachteten Verfahren werden kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe wie Biomassen in einer stationären Wirbelschicht mit überhitztem Wasserdampf vergast.



### Das allotherme Verfahren zur Gaserzeugung aus Biomasse

Die für die Vergasung benötigte Wärme wird außerhalb des Generators erzeugt und über das Vergasungsmittel, d. h. als fühlbare Wärme im überhitzten Wasserdampf, an den zu vergasenden Stoff übertragen, deshalb wird auch von einem allothermen Verfahren gesprochen. Die allotherme Vergasung mit Wasserdampf erzeugt im Vergleich zu autothermen Verfahren, bei denen im Generator ein Teil der Vergasungsprodukte zur Wärmeerzeugung mit Luft verbrannt werden, ein heizwertreiches Gas mit hohem Wasserstoffanteil, geringer Staubfracht und nur geringem Teergehalt.

# Das Verfahren:



## Dampfvergasung:

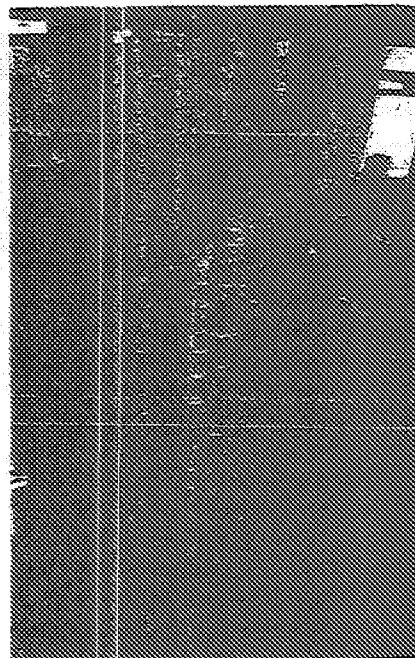
Das Herzstück der Anlage, der Wirbelschicht-Dampf-Vergaser besteht eigentlich aus zwei miteinander verbundenen Wirbelschichtsystemen. Im Vergasungsteil wird die Biomasse bei ca. 850°C unter Zuführung von Dampf vergast. Durch die Verwendung von Wasserdampf an Stelle von Luft als Vergasungsmedium entsteht ein stickstofffreies, teearmes Produktgas mit hohem Heizwert. Ein Teil des verbleibenden Kokes wird über das umlaufende Bettmaterial (Sand), das als Wärmeträger agiert, in den Verbrennungsteil transportiert und verbrennt dort. Die dabei an das Bettmaterial abgeführte Wärme wird zur Aufrechterhaltung der Vergasungsreaktionen benötigt. Das Rauchgas wird getrennt abgeleitet, wobei die enthaltene Wärme zur Auskopplung von Fernwärme genutzt wird.

## Gaskühlung und -reinigung:

Für die Funktion des nachgeschalteten Gasmotors ist es notwendig, das Produktgas zu kühlen und zu reinigen. Natürlich wird die bei der Kühlung anfallende Wärme wiederum zur Fernwärmeerzeugung genutzt. Danach wird das Gas zunächst in einem Gewebefilter entstaubt. Der anschließend installierte Wäscher reduziert die Konzentrationen an Teer, Ammoniak und sauren Gasbestandteilen. Durch das spezielle Verfahren ist es möglich, alle Reststoffe in den Prozess zurückzuführen, wodurch bei der Gasreinigung weder Abfälle noch Abwässer anfallen.

## Gasmotor:

Der Gasmotor wandelt die chemische Energie des Produktgases in elektrische um. Darüber hinaus wird die Abwärme des Motors ebenfalls zur Erzeugung von Fernwärme herangezogen. Dadurch lassen sich Wirkungsgrade erzielen, die bisher bei der Biomassenutzung unerreicht waren. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 25 - 28%, der Gesamtwirkungsgrad (Strom und Wärme) sogar bei über 85%.



Versuchsanlage  
an der TU - Wien